

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

ВОЛКОВАЯ ОЛЕКСАНДРА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 911.9:504.062.2

**ПРИРОДНО-РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТЕРИТОРІЇ
ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ВІТРОАГРЕГАТИВ: ТОПІЧНИЙ РІВЕНЬ**

11.00.11 – конструктивна географія
і раціональне використання природних ресурсів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі фізичної географії та картографії
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Черваньов Ігор Григорович,
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна,
професор кафедри фізичної географії
та картографії

Офіційні опоненти: доктор географічних наук, професор
Петлін Валерій Миколайович,
Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки,
професор кафедри фізичної географії

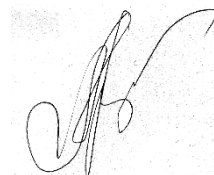
кандидат географічних наук, доцент
Карпець Костянтин Михайлович,
Національний університет цивільного захисту
України Державної служби України
з надзвичайних ситуацій,
провідний науковий співробітник
наукового відділу з проблем цивільного захисту
та техногенно-екологічної безпеки
науково-дослідного центру

Захист відбудеться 6 березня 2018 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.051.04 при Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 6, ауд. 482.

З дисертацією можна ознайомитися у Центральній науковій бібліотеці Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за адресою: 61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.

Автореферат розісланий 2 лютого 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат географічних наук, доцент



Г. В. Тітенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Відновлювана енергетика на сьогодні є пріоритетним напрямом розвитку енергетики у багатьох розвинених країнах світу. В Україні тенденцію до її швидкого зростання передбачено діючими та розроблюваними директивними документами щодо розвитку енергетики. Значну роль відіграє при цьому й галузь вітроенергетики. Згідно Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року, Енергетичної стратегії України на період до 2030 року величина встановлених потужностей вітрових електростанцій має зрости на порядок.

Вітроенергетичний потенціал визначається, насамперед, ландшафтно-географічними умовами у точці розміщення вітроагрегату, бо, залежно від них, вітропотік здатен змінювати потужність, напрям і режим руху. Ці особливості поведінки вітропотіку просторово вельми розбіжні, і незначне відхилення розміщення від оптимального може суттєво вплинути на ефективність роботи вітроагрегату (ВЕУ) чи цілої вітроелектростанції (ВЕС). Ніякі з відомих регіональних і навіть локальних досліджень не забезпечують елімінацію цієї похибки, потрібен розгляд топічного (точкового) рівня вибору місця розміщення агрегату. У свою чергу, досі бракує методики визначення вітроенергетичного потенціалу у конкретній точці майбутнього спорудження вітроагрегату не стільки з інженерних, скільки з ландшафтно-географічних позицій. На топічному рівні виключно важливу роль відіграє комплекс географічних факторів: морфологія рельєфу й структура ґрунтового-рослинного покриву. Їх неврахування, яке має місце на інженерно-проектувальному рівні, призводить до помилок у виборі точки встановлення вітроагрегату – цієї величезної (більш за 100 м заввишки) високовартісної споруди. Це може завдати певного збитку суб'єктові господарювання, а в суспільній свідомості – підірвати віру в ефективність вітроенергетики як конкуруючої галузі з енергетикою традиційною. Таким чином, географічна проблема породжує економічну й соціальну.

Як відомо, вітровий режим спостерігається на метеорологічних станціях і метеопостах вже досить тривалий час, забезпечуючи репрезентативні дані для аналізу й картографування. Але інтерполяція такої інформації на будь-яку конкретну точку місцевості, тобто на топічний рівень розгляду, неможлива з причини суттєвого впливу типу й структури ландшафту, який модифікує вітровий потік. Через практичну неможливість тривалого спостереження метеоелементів у конкретній точці місцевості, та ще й на висоті осі вітроагрегату, ця проблема може бути вирішена розрахунковими засобами, як це показано у роботах вітчизняних та зарубіжних дослідників О. О. Ачкасової, М. Є. Баймірова, М. П. Кузнецова, О. С. Третьякова, Р. Beaucage, J. Cataldo, M. Zeballos та ін. Такі розрахункові моделі існують (Т. Ван де Веккен, Ф. Вайн, С. А. Величко, В. С. Васильєв, Я. Є. Молодан, Н. І. Хрисанов), натомість, вони вимагають системного аналізу багатьох факторів фізико-географічної обстановки. Отже, виникає проблема визначення і одночасного розгляду цих факторів як передумова успішного розміщення вітроагрегатів: самі вони є високотехнологічними інженерними спорудами, але проблема вибору й оцінювання їх місця розміщення є конструктивно-географічною.

Науково-практична проблема, що розглядається, є актуальною. По-перше, будь-яке вдале уточнення позиції майбутнього вітроагрегату (тим більше – вітроелектростанції) буде сприяти більш високій окупності капітальних витрат, отже, заохочуватиме до інвестицій у галузь; по-друге, це мусить сприйматися як успіх конструктивної географії щодо розробки методології оцінювання актуального природного ресурсу, яким є вітер, і надасть цій найбільш активній галузі сучасної географії більш високого соціального статусу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, пов'язана з напрямком наукових досліджень з геоінформаційного моделювання. Дисертаційне дослідження було заплановане в рамках виконання стратегічної перспективи розвитку досліджень і розробок міжнародного проекту TEMPUS-TACIS CD_JEP-21242-2000 «Education development in environmentally safe energetic», який очолювався науковим керівником даного дослідження. Безпосередньо тематика дисертаційного дослідження пов'язана з прийнятими в Україні законодавчими, нормативно-правовими актами та програмними документами, спрямованими на розвиток альтернативної енергетики: Енергетичною стратегією України до 2030 р., схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071-р від 24 липня 2013 р., Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р., Державною цільовою економічною програмою енергоефективності та розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2016 роки. Постановою Кабінету міністрів України №942 від 7 вересня 2011 р. дослідження у сфері альтернативної енергетики включені до переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок. Частина положень, пов'язаних з екологічним впливом вітроенергетики та методиками прогнозування швидкостей вітру, розроблялася в рамках програми «Rennes Metropole mobility grants for “incoming” foreign PhD students» під час стажування автора в Університеті Ренн-2 в лабораторії «Географічний простір та суспільство» (Ренн, Франція). Окремі методологічні розробки автора реалізовані у науково-дослідній роботі «Карта потреб підвищення енергоефективності малих територіальних громад Харківської та Донецької областей з урахуванням потенціалу нетрадиційних джерел енергії» (2015 р.), № держреєстрації 0115U002974.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є імплементація методики оцінки природно-ресурсного потенціалу території для розвитку вітроенергетики регіонального рівня на топічний рівень з різним поєднанням фізико-географічних умов та з урахуванням необхідної економічної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети необхідним було вирішити наступні завдання:

- проаналізувати історію розвитку теоретичних уявлень і досвід оцінки ресурсного потенціалу вітроенергетики на регіональному й локальному рівнях в Україні та світі;

- визначити, у яких відношеннях методика аналізу вітропотенціалу на топічному рівні мусить враховувати досвід її оцінки на регіональному й локальному рівнях;

- розробити уточнені наукові засади та алгоритми моделювання вітропотoku;

- визначити та обґрунтувати фактори, що територіально обмежують використання природних ресурсів вітроенергетики, зокрема, акустичне навантаження, та виокремити зони придатності території для розміщення вітроагрегатів;

- здійснити апробацію отриманих результатів на тестових об'єктах в межах Харківської лісостепової провінції Лівобережного Лісостепу України.

- розробити варіанти стратегії розвитку вітроенергетики в даному регіоні із врахуванням всіх досліджених чинників, розрахувати потенційний виробіток енергії та економічну оцінку відповідно до кожного з варіантів стратегії і здійснити порівняльний аналіз.

Об'єктом дослідження є вітровий енергетичний потенціал території на топічному рівні.

Предметом дослідження є просторовий розподіл вітроенергетичного потенціалу в залежності від ландшафтно-географічних умов і соціальної інфраструктури території.

Модельним регіоном дослідження слугує територія середнього Пооскілля (в межах Борівського та Ізюмського районів Харківської області).

Методи дослідження. Дисертаційне дослідження в цілому базується на модельному підході, притаманному конструктивній географії. *Порівняльно-географічний метод* використано для вибору ділянки дослідження. *Математичні та статистичні методи* використані для обробки результатів вимірів швидкостей вітру. Сучасні *методи картографічного та геоінформаційного моделювання* застосовано у побудові й дослідженні поверхонь розподілу вітроенергетичних ресурсів та визначенні обсягів виробітку енергії. Використані програмні продукти Панорама, Surfer, ArcGIS, а також спеціалізована ГІС WindFarm. *Методи географічного аналізу і синтезу* забезпечували інтерпретацію експериментальних результатів та змістовно супроводжували вирішення нової конструктивно-географічної задачі оптимізації розміщення ВЕС.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- узагальнено світовий досвід прогнозування вітроенергетичних показників для територій з фізико-географічними умовами, подібними до території Лівобережної України;

- встановлено нові закономірності розподілу швидкості вітру та потужності вітроелектростанцій в умовах складної орографії на локальних ділянках Лісостепу України;

- запропонована й апробована на тестових об'єктах методика розрахунку природно-ресурсного потенціалу вітроенергетики на топічному рівні для доцільного розміщення вітроагрегатів;

- досліджено прогностичну величину акустичного впливу вітроагрегатів із використанням сучасних геоінформаційних технологій шляхом побудови

статистичної поверхні фонового шуму місцевості та подальшого накладання акустичного навантаження вітроагрегату на існуючі умови;

- запропоновано та проаналізовано можливість використання вітроагрегатів, що були раніше у використанні, як альтернативного економічно виправданого варіанту прискорення розвитку вітроенергетики;

Удосконалено:

- методику розрахунку природно-ресурсного потенціалу вітроенергетики із виокремленням зон, привабливих для розміщення вітроагрегатів;

- методику прогностичного розрахунку швидкостей вітру на висоті встановлення вітроколеса на основі моделі MS-Micro/3 на локальному рівні шляхом врахування комплексу місцевих фізико-географічних чинників, що дозволяє з обґрунтованою достовірністю визначати імовірні потужності вітроагрегатів стосовно до природних умов Лісостепової зони України;

Дістало подальший розвиток:

- розрахунки за різними моделями вертикального профілю вітропотoku.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи є вихідними для обґрунтування місця встановлення ВЕС в умовах території України у місцевості зі складною орографією та незначними середньорічними швидкостями вітру. Результати порівняння стратегій розвитку вітроенергетики можна використовувати у енергетичному плануванні на локальному та регіональному рівні, розробці програм з впровадження та розвитку вітроенергетики у Харківській області органами державного управління, у процесі прогнозування роботи вітроенергетичних станцій на етапі їх проектування, а також у навчальній і дослідницькій діяльності.

Розробки автора знайшли практичне впровадження в процесі укладання картографічних творів вітроенергетичних ресурсів в рамках реалізації науково-дослідної роботи № 0115U002974 «Карта потреб підвищення енергоефективності малих територіальних громад Харківської та Донецької областей з урахуванням потенціалу нетрадиційних джерел енергії» (довідка № 0301-134 від 30 вересня 2016 р.). Наукові положення та окремі практичні результати дослідження впроваджені у навчальний процес Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна на кафедрі фізичної географії та картографії при викладанні курсів «Фаховий практикум» та «Основи географічного моделювання» (довідка № 0202-1093 від 30 вересня 2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Автором особисто здійснено розробку усіх складових дослідження, заявлених як елементи новизни. У дисертаційному дослідженні наведено й обґрунтовано методику дослідження впливу чинників географічного ландшафту на енергетичні характеристики вітропотoku. Розроблено моделі й алгоритми моделювання геоситуацій з урахуванням морфології рельєфу та структури ґрунтово-рослинного покриву. Побудовано відповідні цифрові моделі, відображено на картах і здійснено їх аналіз. Обчислено прогностичні швидкості вітру та вітроенергетичний потенціал в умовах складної орографії, виконано необхідні розрахунки. Модельні побудови апробовано на тестових об'єктах, здійснено експериментальні вимірювання фонового шуму.

Усі наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Із робіт, виконаних у співавторстві, на захист винесені лише власні авторські ідеї та підтверджені результати.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень перевірялись незалежними методами, представлялись, обговорювались та були опубліковані у матеріалах на наукових заходах міжнародного, національного та регіонального рівнів, зокрема в Україні на конференціях ГІС-форум «Освіта. Наука. Виробництво» (Харків, 2014, 2015, 2016), на щорічних Міжнародних наукових конференціях студентів та аспірантів «Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи», присвячена пам'яті проф. Г. П. Дубинського (Харків, 2014, 2015), Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 25-річчю географічного факультету Тернопільського національного педагогічного університету імені В. Гнатюка (Тернопіль, 2015), XXIV Міжнародній науковій конференції на тему: «Актуальні проблеми безперервної географічної освіти та картографії» (Харків, 2015), XX Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 10-річчю створення екологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (Харків, 2017); а також на семінарі аспірантів та докторантів лабораторії «Географічний простір та суспільство» Університету Ренн-2 (Франція, 2016), сумісному семінарі науковців лабораторії «Географічний простір та суспільство» та Дослідницького центру з політичної діяльності в Європі (Франція, 2016).

Публікації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано в 14 наукових працях (з них 8 одноосібних) загальним обсягом 5,12 д. а., з яких 3,95 д. а. належить особисто автору. Серед них 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття – у науковому періодичному виданні іншої держави, 1 стаття – в іншому науковому періодичному виданні, 7 матеріалів і тез наукових конференцій та форумів різного рівня, 1 методичний посібник.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 7 додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 178 сторінок друкованого тексту, з них основного тексту 124 сторінки. Робота ілюстрована 5 таблицями та 22 рисунками. Список використаних джерел містить 218 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі *«Підходи до оцінки природно-ресурсного потенціалу території для потреб вітроенергетики»* здійснено аналіз наявних науково-прикладних досліджень та розробок за об'єктом та предметом дослідження, проведено аналіз поняттєво-термінологічного апарату. Виявлено два основні підходи до розгляду поняття «природно-ресурсний потенціал» (ПРП): соціально-економічний, за яким більша увага приділяється комплексності поняття, вартісній оцінці ресурсів (М. В. Багров, А. П. Голіков, Ю. Д. Дмитревський, В. П. Руденко, Я. Б. Олійник, О. І. Шаблій та ін.), та конструктивно-географічний, пов'язаний з формуванням причинно-наслідкових зв'язків, побудовою теоретичного підґрунтя для визначення потенціалу ресурсів, використанням конструктивного підходу (І. П. Герасимов, А. М. Маринич, В. М. Петлін) та методу моделювання

(А. П. Голяков, Л. Г. Руденко, Г. І. Швєбс, І. Г. Черваньов та ін.). Визначено основні завдання, які постають у дослідженнях вітроенергетичного потенціалу за використання конструктивно-географічного підходу, на основі новітніх праць і розробок вітчизняних і зарубіжних вчених: О. О. Ачкасової, М. Є. Баймірова, В. С. Васильєва, М. П. Кузнєцова, Я. Є. Молодан, О. С. Третьякова, Н. І. Хрисанова, Р. Beaucage, J. Cataldo, M. Zeballos, Т. Ван де Веккена, Ф. Вайна та ін. Проаналізовано основні методи та завдання, які вирішувались попередниками. Здійснено аналіз напрямів досліджень у вітроенергетиці. Виявлено найактуальніші для України складові вітроенергетичного проекту, які потребують детальнішого розгляду: визначення засобів підвищення виробітку енергії в умовах обмеженого потенціалу, оцінка потенційного впливу на навколишнє середовище та розробка методики врахування факторів, які обмежують розвиток вітроенергетики. Здійснено порівняння регіонального та місцевого рівнів досліджень, визначено основні параметри, які мають бути прийняті до уваги у дослідженнях на топічному рівні. Спираючись на класичні та альтернативні підходи до розгляду ландшафту (М. Д. Гродзинський, Г. І. Денисик, А. А. Краукліс, А. В. Мельник, Г. П. Міллер, В. М. Петлін, В. С. Преображенський, М. А. Солнцев) обґрунтовано необхідність та шляхи вдосконалення системи оцінки природно-ресурсного потенціалу території для потреб вітроенергетики. Розглянуто можливості залучення структурного аналізу рельєфу (І. Г. Черваньов) та ландшафтної топології (В. Б. Сочава, М. Д. Гродзинський) у процесі аналізу природно-ресурсного потенціалу території на етапі обґрунтування вітроенергетичного проекту.

У **другому розділі** дисертаційного дослідження *«Методика оцінки природно-ресурсного потенціалу території з врахуванням ландшафтної структури»* визначено основні складові оцінки вітроенергетичного потенціалу при переході на топічний рівень дослідження та узагальнено досвід у формі комплексного алгоритму оцінки природно-ресурсного потенціалу території для потреб вітроенергетики на топічному рівні (рис. 1). Обґрунтовано вдосконалення алгоритму шляхом залучення додаткових ландшафтно-географічних досліджень на кількох етапах: розрахунку матриці висот (проведення структурного аналізу рельєфу, що дозволить збільшити точність результуючої матриці висот), побудові поверхні шорсткості (проведення класифікації існуючих ландшафтів на основі космічного знімку та присвоєння ним коефіцієнту шорсткості, замість оцифрування вже існуючих карт ландшафтів), проведення додаткового етапу оцінки та удосконалення побудованої моделі середніх швидкостей вітру шляхом аналізу ландшафтної структури території. Кожен етап пропонованого алгоритму детально обґрунтовано.

Наводиться апріорне бачення впливу комплексу фізико-географічних умов різної ієрархії (перш за все рельєфу та факторів шорсткості підстильної поверхні) на фізичну природу вітру та його енергетичні характеристики: швидкість, її просторово-часові варіації та вертикальну мінливість структури вітропотoku. Проаналізовано питання тривимірного моделювання розподілу швидкостей вітру в залежності від наведених апріорі факторів як центральної складової конструктивно-географічного дослідження. Здійснено класифікацію джерел статистичних даних для розрахунків.

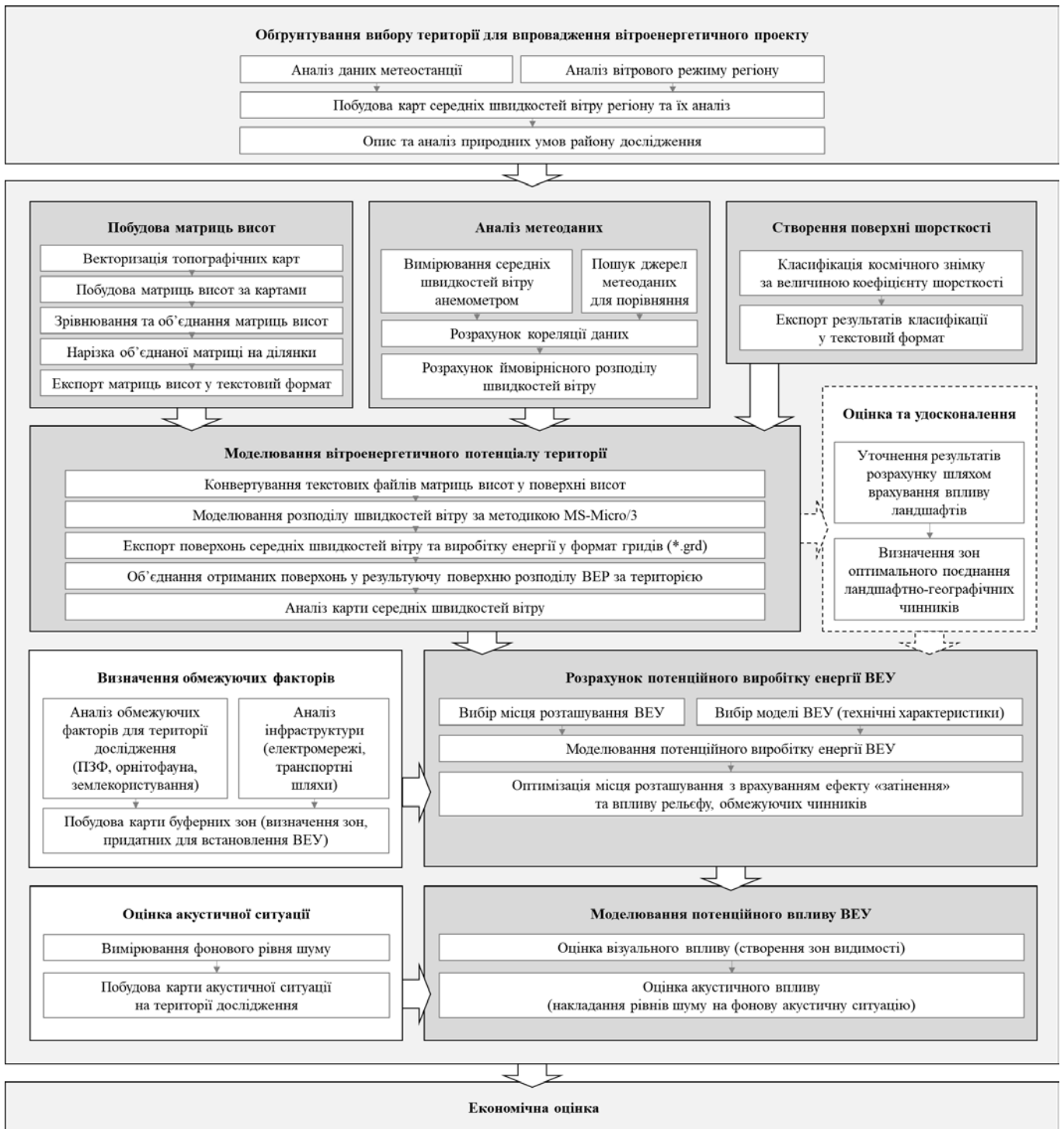


Рис. 1 Алгоритм оцінки природно-ресурсного потенціалу території для потреб вітроенергетики з врахуванням ландшафтної складової (виділено пунктиром)

Обґрунтовано етапи підготовки та верифікації вихідних метеоданих для проведення оцінки природно-ресурсного потенціалу. Запропоновано підкріплення та уточнення даних вимірів анемометром на ділянці дослідження шляхом проведення кореляційного аналізу з доступними метеоданими (наземного моніторингу, регіональних моделей розрахунку тощо). Здійснено огляд методик розрахунку середніх швидкостей вітру, їх порівняння, розрахунок похибок та характеристика обраної моделі для удосконалення. Визначено основні методики розрахунку вітроенергетичного потенціалу, їх складові та обмеження.

Найпоширенішими моделями розрахунку середніх швидкостей вітру є: аналітичні моделі (метод найближчого сусіда, зворотних зважених відстаней), емпіричні (модель впливу Дж. Клайна), лінійні моделі вітрового потоку (WAsP, MS-Micro/3), моделі обчислювальної гідродинаміки (CFD) (WindSim), мезомасштабні моделі чисельного прогнозу погоди (NWP), наприклад, MASS, WRF, ARPS, MC2, KAMM тощо. Здійснено огляд програмного забезпечення, яке може бути використане для моделювання вітроенергетичного потенціалу, у результаті чого обрано модель MS-Micro/3, яка показала найменшу похибку результатів для форм рельєфу, притаманних території Лівобережного Лісостепу України.

Проведено верифікацію даних моделювання на ділянках зі складною орографією. Встановлено, що незалежно від методу моделювання, невизначеність збільшується із зростанням складності рельєфу. Встановлено залежність похибки обчислення показників вітропотоку від складності ландшафтної структури. Визначено, що жодна з відомих моделей не надає точної кількісної оцінки швидкості вітру. Отже, увага мусить бути зосереджена на якісному комплексно-географічному тлумаченні та системному осмисленні результатів моделювання. Експериментально встановлено, що на топічному рівні досліджень оптимальне поєднання точності та легкості розрахунку з урахуванням ландшафтно-географічних чинників може забезпечити модель MS-Micro/3. Проведено порівняння результатів розрахунків даної моделі для різних типів місцевості та обсягу вихідних даних для розрахунків.

Картографічне представлення розрахунків у вигляді статистичних поверхонь дає змогу візуалізувати їх результати у формі, доступній для якісного аналізу. Втім, це континуальне представлення даних, яке може надавати картографічна модель (на відміну від дискретного математичного представлення), потребує певних додаткових операцій переходу (нелінійної інтерполяції даних). Визначено, що саме в процесі операції переходу і виявляється небезпека отримання невірогідних результатів моделювання, що дослідник може не взяти до уваги. В разі проведення точкових розрахунків, така похибка може бути неістотною через нерівномірність розподілу похибки. Проте, для створення неперервної площини значень дані мають максимально відповідати дійсності. Тому, на етапі переходу від математичної до картографічної моделі має здійснюватися перевірка отриманих даних моделювання.

Визначено обмежуючі фактори розвитку вітроенергетики для типової ділянки Лівобережного Лісостепу України, до яких відносяться об'єкти природно-заповідного фонду, водні об'єкти, ліси та об'єкти землекористування (відповідно до законодавчих норм України), основні шляхи міграції орнітофауни та доступ до інфраструктури (енергетичні мережі та автошляхи). Визначено особливості їх врахування та оцінки у вітроенергетичному проекті.

Запропоновано методику оцінки потенційного впливу вітроагрегату (акустичний та візуальний вплив) шляхом побудови карти фонові акустичної ситуації та накладання моделі акустичного навантаження (відповідно технічних характеристик вітроагрегату) на фонову карту та, відповідно, побудову зон видимості для точки встановлення вітроагрегату. Через специфічну природу звуку додається лише різниця (апроксимовано, розрахунок здійснювався за стандартними формулами) у рівнях акустичного навантаження та фонові акустичної ситуації, що може зменшити величину прогнозованого акустичного навантаження вітроагрегату.

У третьому розділі «*Етапи оцінки природно-ресурсного потенціалу території для потреб вітроенергетики на топічному рівні*» запропоновано та апробовано на модельному об'єкті методику оцінки вітропотенціалу для характерної ділянки Лісостепу. Модельна ділянка, яку було визначено репрезентативною, характеризується значною строкатістю ландшафтів. Вона розміщена на межі Лісостепу й Степу, на вододільній ділянці річок Оскіл та Сіверський Донець і в долині р. Оскіл, охоплює територію площею 275 км² і має вигляд прямокутника (рис. 2). Для розрахунків середніх швидкостей вітру використовувались дані безпосередніх короткоперіодичних вимірів анемометром, який було встановлено на висоті 22 м відносно земної поверхні (180 м над рівнем моря), на термін у 5 місяців за холодний період року (з жовтня по лютий включно), під керівництвом к.г.н., доц. Третьякова О. С. та за участі працівників французької вітроенергетичної компанії «Nerzh an Avel».

На основі обраної у попередньому розділі методики здійснено побудову статистичної поверхні середніх швидкостей вітру, кожній точці якої відповідає певне розраховане значення середньої швидкості. Для виконання даної частини дослідження було використане програмне забезпечення ГІС Карта 2011, WindFarm, QGIS. На основі космічного знімку території у програмі WindFarm було побудовано поверхню шорсткості місцевості. Для цього було проведено векторизацію об'єктів місцевості (лісів, лісосмуг, чагарників, ріллі, водосховищ, ставків, населених пунктів) на основі растрового зображення та класифікацію ландшафтів на основі космічного знімку. Кожному об'єкту було присвоєно відповідне значення аеродинамічного коефіцієнту шорсткості z_0 . За результатами моделювання побудовано карту розподілу середньорічних швидкостей вітру на модельній ділянці (рис. 2). Визначено, що найбільші швидкості вітру в межах тестової ділянки спостерігаються на вододільній ділянці, у північній її частині, яка характеризується найбільшими висотами й розчленованістю. Деяке зростання швидкостей вітру спостерігається повсюдно на прибережному схилі (ділянка поблизу с. Бахтин), що спричинене у першу чергу близькістю водосховища (хоча апріорі вважалось, що малі водойми не впливають на вітровий потік безпосередньо). Ймовірно, тут має вирішальне значення суттєве зменшення шорсткості водної поверхні у порівнянні з суходолом, тому вітри певних напрямів розганяються над поверхнею водосховища. Отже, слід керуватися і розою вітрів. Так як північний напрям вітру має більшу повторюваність, ніж південний, ми спостерігаємо більші покази швидкості вітру саме в північній частині ділянки схилу узбережжя. Найнижчі покази швидкості – поблизу с. Підлиман (через значну лісистість та невеликі абсолютні висоти).

Наступним етапом була оцінка та удосконалення результатів моделювання шляхом врахування впливу ландшафтів та визначення зон оптимального поєднання ландшафтно-географічних чинників. Для цього було використано ландшафтну карту території та результати структурного аналізу рельєфу. Далі потенційний виробіток енергії розраховувався саме для цих зон (рис. 3). Цікавим результатом є те, що хоча низьке значення шорсткості для водосховища дало нам змогу припустити, що швидкість вітрів тут буде вищою і забезпечуватиме кращі результати виробітку, аналіз довів, що площі поверхні водосховища недостатньо для забезпечення переваги розташування вітроагрегатів на поверхні водосховища перед розташуванням на вододілі. При цьому розташування на узбережному схилі (рис 3, ВЕУ №13) дало змогу досягти неочікувано вищих значень.

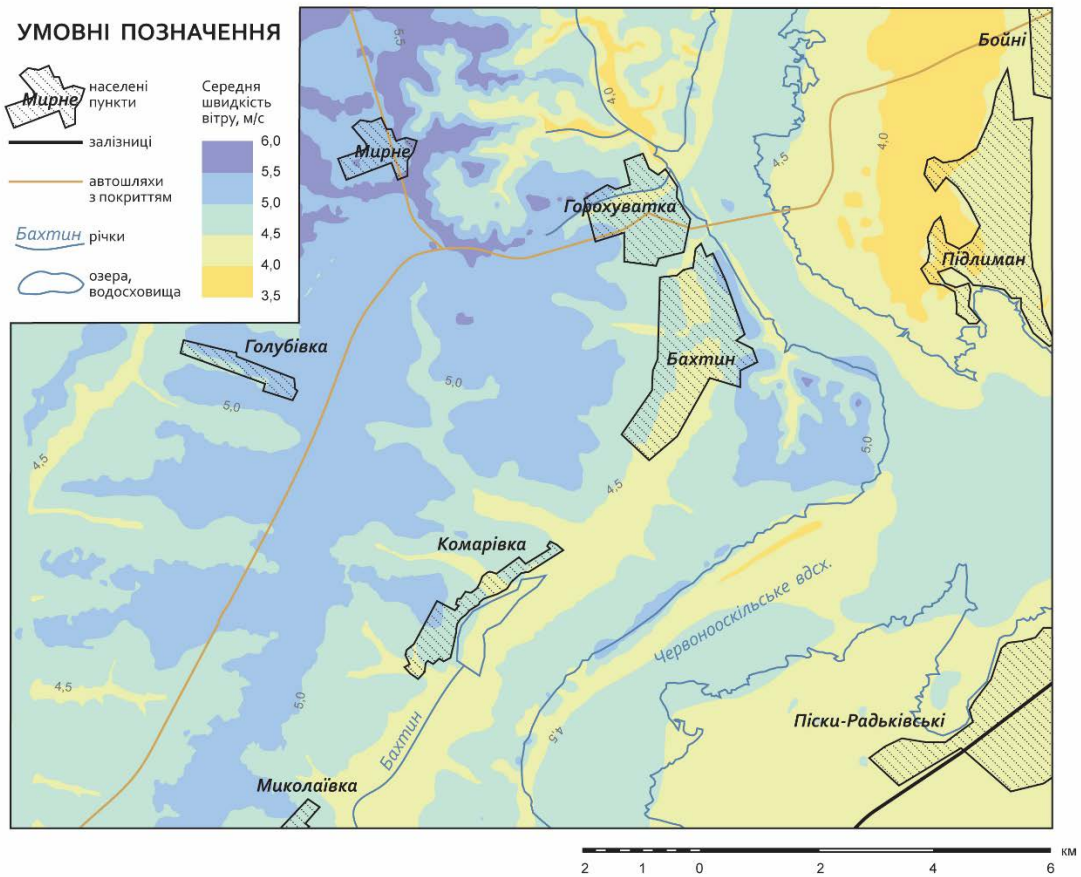


Рис. 2 Результати моделювання середніх швидкостей вітру (для висоти 10 м)

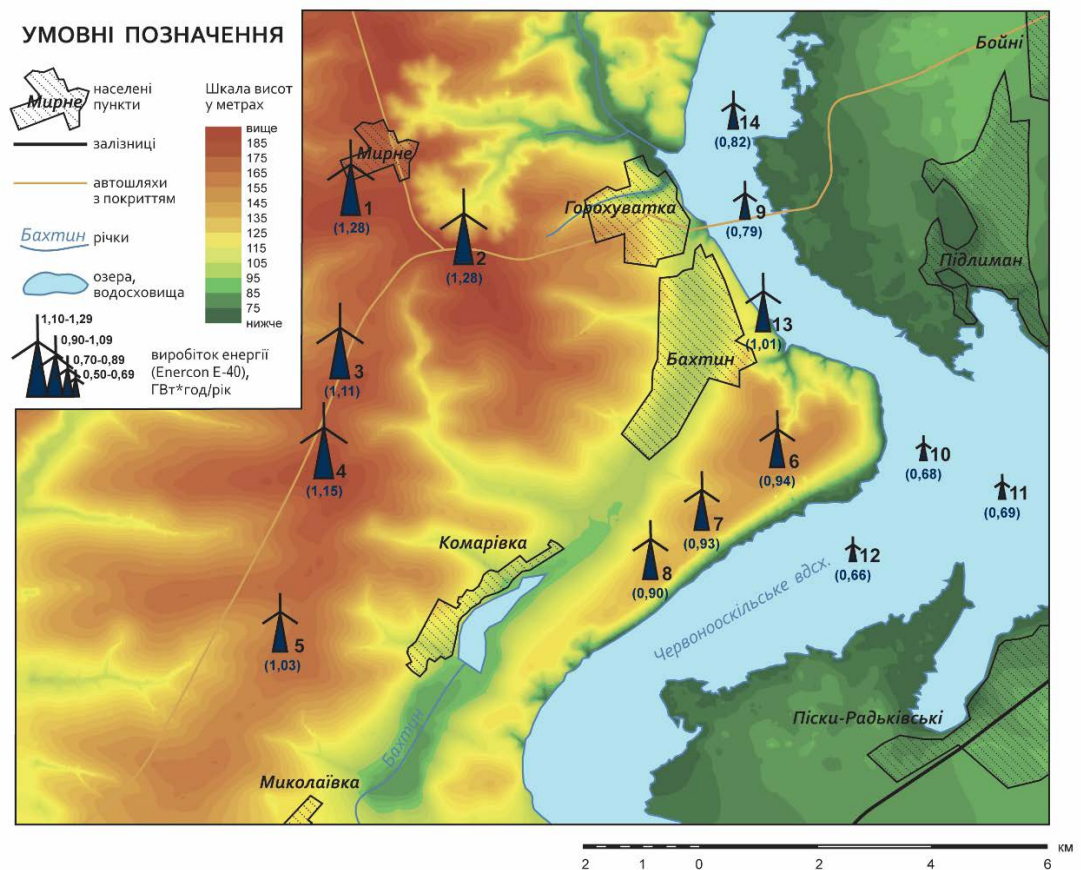


Рис. 3 Потенційний виробіток енергії вітроагрегатів у зонах оптимального поєднання ландшафтно-географічних чинників

На основі врахування законодавчих обмежень було побудовано карту лімітуючих факторів для ділянки дослідження. Для обробки даних та побудови карти було використано програмне середовище ArcGIS. Першим етапом було створення шарів даних для кожного параметру (населені пункти, лісові насадження, тощо). У подальшому було здійснено операції просторового аналізу з шарами даних. На етапі визначення буферних зон було створено зони відповідних розмірів навколо кожного з параметрів. Було використано наступні показники: населені пункти – 300 метрів; річки та водосховища – 400 метрів; лісові насадження – 400 метрів; транспортні мережі – 110 метрів; природоохоронні об'єкти – 500 метрів. Наступним етапом було об'єднання отриманих буферів у єдиний шар і подальше накладання його на карту території дослідження. Таким чином, за отриманою картою можна виокремити ділянки, придатні і непридатні для розміщення вітроагрегатів.

Спеціально досліджувалось питання впливу вітроагрегатів на орнітофауну, адже територією дослідження вздовж Червонооскільського водосховища проходить Дніпровський шлях міграції птахів. Запропоновано, в разі проведення відповідних вишукувальних робіт для ВЕС, враховувати одразу напрям і траєкторію сезонних міграцій птахів.

Встановлено, що акустична ситуація на території в цілому є сприятливою для розвитку вітроенергетики. За робочих швидкостей вітру (а саме за таких здійснювалось вимірювання рівнів шуму) на більшій частині території рівень фонового шуму досягає високих значень, більших за рівень «комфарту» у 45 дБ. На ділянках поблизу населених пунктів спостерігається деяке підвищення рівня фонового шуму. Таким чином, відповідно до типу вітроагрегату, рівень шуму може перекриватися фоновим рівнем і розміщення ВЕУ не буде чинити істотний акустичний вплив на населення.

Останнім етапом оцінки ПРП території для потреб вітроенергетики стала побудова інтегральної карти зон, придатних для розміщення вітроагрегатів в межах модельної ділянки.

У **четвертому розділі** *«Моделювання варіантів розміщення вітроелектростанцій на основі розрахунку природно-ресурсного потенціалу території»* розглядаються 2 варіанти розвитку вітроенергетики на локальній ділянці: із застосуванням двох типів вітроагрегатів: нових та тих, що раніше були у використанні.

Варіант 1. Розвиток вітроенергетики без модернізації електромереж. За цією стратегією фінансування на етапі проектування та встановлення вітроелектростанції є мінімальним. Таким чином, при виборі місця розташування вітроагрегатів має враховуватися необхідність максимального обмеження витрат на використання землі, транспортні мережі, підключення до місцевої електромережі, але при цьому оптимально поєднуватися із необхідністю отримання найвищих значень виробітку. Вітроагрегати мають бути встановлені у зоні 200 метрів від наявних ліній електропередач, із врахуванням обмеженості підключення через можливість перевантаження мереж. Передбачається придбання невеликої кількості вітроагрегатів, які раніше були у використанні. В межах цієї стратегії розрахунки проводилися для ВЕУ Enercon E-40, яка досить широко

застосовується для використання енергії вітру в сільській місцевості на значних відкритих ділянках. Висота вежі складає 44 м, діаметр вітроколеса – 40 м. Дана установка дозволяє використання швидкостей вітру в значеннях від стартового 2,5 м/с до критичного 33 м/с. Розрахункова швидкість вітру для установки складає 13 м/с, за таких значень швидкості вітру і вище розрахункова потужність установки становить 500 кВт. Орієнтовна ціна установки, яка раніше була у використанні, 100–130 тис. євро.

Варіант 2. Достатнє фінансування для проектування повноцінної вітроенергетичної станції, можливості вибору місць із найбільшим потенційним виробітком енергії. Для даної стратегії необхідним є використання оптимального сучасного вітроагрегату. Вихідними параметрами для вибору в нашому випадку виступали невисокі значення початкової швидкості вітру (так як середні швидкості вітру на нашій ділянці належать до низьких згідно Європейських стандартів), відповідно невисокі значення номінальної швидкості вітру (для нашої території розрахункові номінальні швидкості вітру становлять 10-12 м/с). За такими параметрами було обрано вітроенергетичну установку Enercon E-115. Висота вежі складає 92,5 м, діаметр вітроколеса – 115 м. Ця установка дозволяє використовувати значення швидкості вітру у діапазоні від стартового 2 м/с до критичного 28-34 м/с. Розрахункова швидкість вітру для установки складає 12 м/с, за таких значень швидкості вітру і вище розрахункова потужність установки становить 2500 кВт. Орієнтовна ціна нової установки: 2,5 млн. євро.

В межах першої стратегії необхідно було розрахувати виробіток енергії на конкретних ділянках. Відстань між вітроагрегатами розрахунково складала 30 метрів (рис. 4). Так як постала необхідність встановлення вітроагрегатів перпендикулярно міграційного руху птахів, а також через те, що виробіток енергії прогнозовано має бути більшим, вітроагрегати розташовано в одну лінію вздовж автошляху Т2109 із можливістю розташування підвищувальної підстанції у будь-якій частині вітроелектростанції. Водночас точки встановлення вітроагрегатів обиралися виходячи із необхідності використання земель несільськогосподарського призначення або таких, що не відносяться до оброблюваних земель. Проте в межах досліджуваної території для розташування 20 вітроагрегатів не вистачає таких ділянок. Тому частина агрегатів була розташована в межах оброблюваних земель. Тож, на ділянках, що не входять до сільськогосподарських угідь, розташовані вітроагрегати № 1, 2, 3, 4, 13 та 20. Таким чином досягається оптимальне співвідношення виробітку енергії та витрат на оренду угідь. Виробіток енергії по результатах склав 15,992 ГВт·год. Найвищий показник виробітку належить вітроагрегату №14.

Для цілей другої стратегії було обрано розташування вітроагрегатів у шаховому порядку (через досить рівномірний розподіл рози вітрів та значну розосередженість вітроагрегатів) на відстані 800 метрів один від одного (рис. 5). Внаслідок аналізу кількох можливих положень було обрано оптимальний варіант розміщення недалеко від селища Гороховатка. За результатами обчислень було отримане значення загального виробітку, яке склало 37,850 ГВт·год. Найвище значення отримав ВЕУ №4, який серед інших вітроагрегатів займає найвище за абсолютною висотою положення.

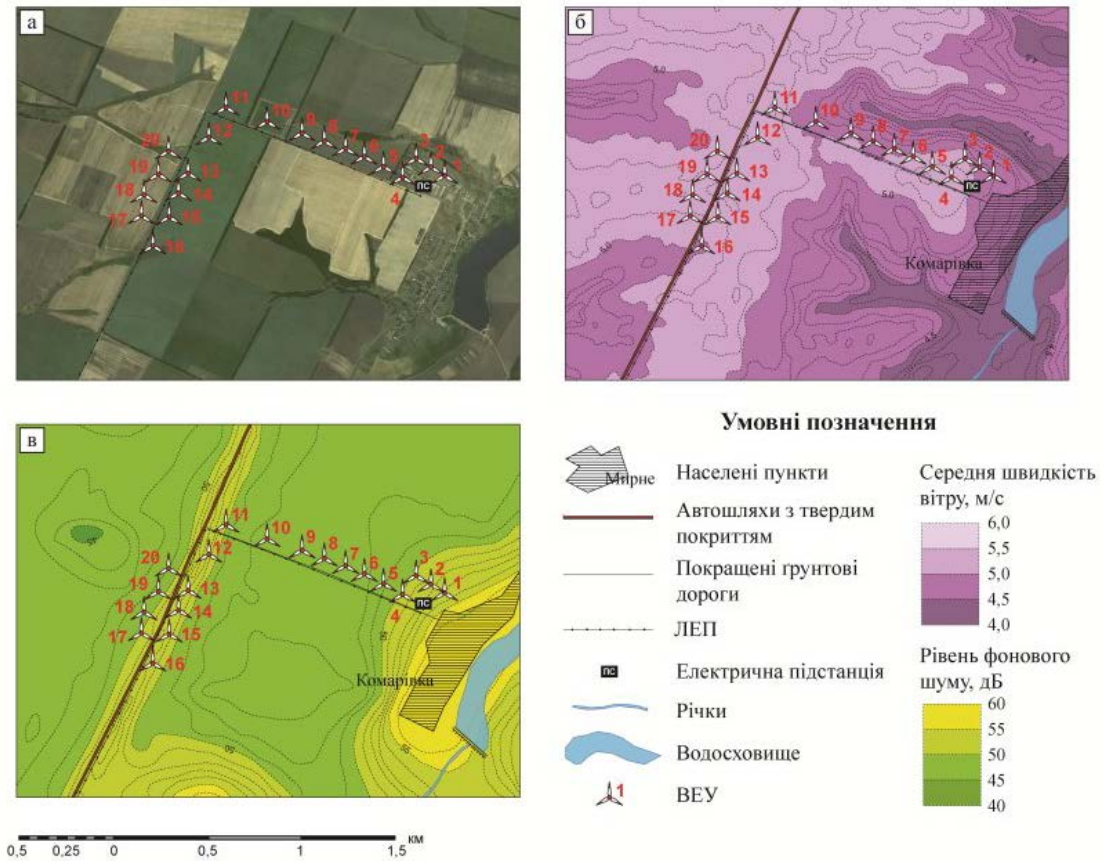


Рис. 4 Стратегія розміщення для ВЕУ Enercon E-40: космічний знімок (а), середньорічні швидкості вітру (б) та рівень фонового шуму для ділянки розміщення ВЕУ

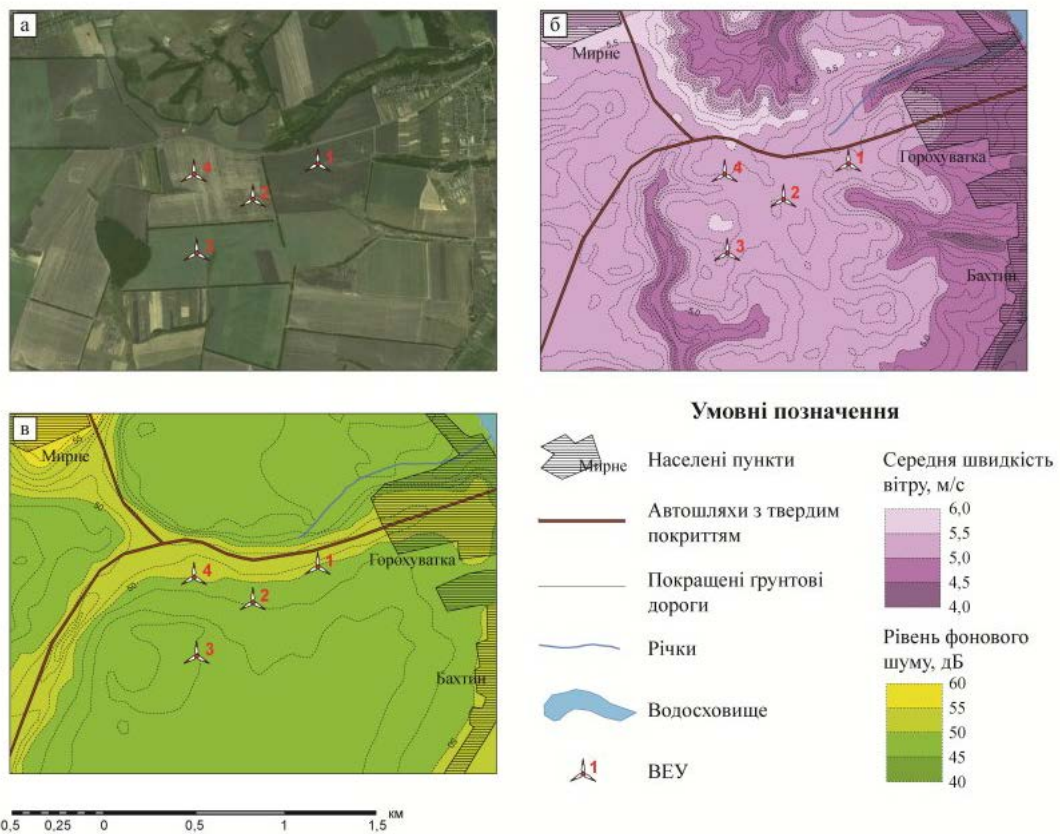


Рис. 5 Стратегія розміщення для ВЕУ Enercon E-115: космічний знімок (а), середньорічні швидкості вітру (б) та рівень фонового шуму для ділянки розміщення ВЕУ

Слід звернути увагу на отримані значення виробітку за всіма стратегіями. За однакової сумарної потужності, виробіток енергії потужнішими вітроагрегатами є істотно більшим. Проте, для остаточного вибору даної стратегії необхідно провести економічну оцінку проекту, адже витрати на розвиток за другою стратегією є значно більшими. Тим не менш, значення виробітку за першою стратегією є так само істотними і може давати значний прибуток, із врахуванням меншої вартості вітроагрегатів, підключення, тощо.

Останнім етапом дослідження стало моделювання акустичного навантаження на місцеве населення для обох стратегій (табл. 1), яке виявило, що навіть за екстенсивної стратегії розвитку вітроенергетики сумарні рівні шуму не будуть перевищувати фонових рівнів на модельній ділянці.

Таблиця 1

Рівні шуму для конкретних точок житлової забудови

<i>Стратегія 1 (с. Комарівка)</i>			
<i>№ будівлі</i>	<i>Шум ВЕУ, дБ</i>	<i>Фоновий шум, дБ</i>	<i>Результуючі рівні шуму, дБ</i>
1	38,31	53,9	54,018
2	35,22	53,8	53,860
3	42,38	54,1	54,383
<i>Стратегія 2 (с. Гороховатка)</i>			
<i>№ будівлі</i>	<i>Шум ВЕУ, дБ</i>	<i>Фоновий шум, дБ</i>	<i>Результуючі рівні шуму, дБ</i>
1	31,65	50,0	50,063
2	32,48	50,1	50,174
3	25,22	50,0	50,014

Результати запропонованої методики оцінки вітроенергетичного потенціалу і похідних стратегій представлені у вигляді карт, розрахунків, цифрових даних. Етапність дослідження може стати методичною вказівкою до виконання подібних досліджень для локальних ділянок зі складною орографією і строкатістю ландшафтів.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі імплементовано та удосконалено методику оцінки природно-ресурсного потенціалу території для розвитку вітроенергетики на топічному рівні на ділянках з різним поєднанням фізико-географічних умов та з урахуванням необхідної економічної інфраструктури, доведено доцільність впровадження у методику конструктивно-географічного підходу аналізу ландшафтів. Було отримано наступні результати:

1. Теоретично обґрунтовано та запропоновано спосіб обрання варіанту оптимального врахування комплексу фізико-географічних та екологічних чинників при оцінюванні потенціалу вітроенергетики на топічному рівні, у порівнянні з більш високими й загальними регіональним і локальним рівнями, що є необхідним для моделювання розміщення вітроагрегату у певній точці перспективної ділянки.

2. Обґрунтовано вибір та вдосконалення методики моделювання вітропотoku й визначення вітропотенціалу. Обрано модель MS-Micro/3, яка показала найменші показники похибки та забезпечує достатню достовірність результатів для ділянок із складною орографією й строкатою ландшафтною структурою, типовою для Лівобережного Лісостепу України.

3. Проведено порівняльний аналіз основних моделей прогнозування середньої швидкості вітру та величини похибки кожної моделі в залежності від орографії та шорсткості місцевості.

4. Удосконалено й апробовано спосіб отримання параметрів території, потрібних для моделювання вітропотoku, шляхом комплексного застосування польової ландшафтної зйомки, статистичних розрахунків та геоінформаційних технологій.

5. Встановлено, що в складних фізико-географічних умовах Лівобережного Лісостепу України слід ретельно визначати ділянки розміщення вітроагрегатів, так як вітроенергетичний потенціал істотно залежить від сукупності декількох природних чинників: рельєфу, рослинного покриву та наявності водних об'єктів.

6. Встановлено залежність просторово-часового розподілу вітропотoku від структури рельєфу і співвідношення з нею рози вітрів і, відповідно, енергетичної ефективності вітроагрегату. Визначено, що серед типових ділянок флювіального рельєфу (вододіл, його схил, поверхня водосховища) найбільш перспективною для використання енергії вітру є найвищі ділянки та прибровочні частини навітряних схилів, що розташовані на плакорі, найменші – у тиловому шові схилу й частині водосховища.

7. Хоча підтверджено, що домінуючим параметром при проектуванні виробітку енергії є абсолютна висота місцевості, водночас встановлено, що за умови сприятливого впливу комплексу інших чинників, середні швидкості вітру можуть сягати технологічних значень навіть у точках місцевості, що не характеризуються домінуючими висотами. Потенційний виробіток енергії обернено залежить від шорсткості та прямо – від відкритості пануючому (статистично протягом року) вітрові.

8. Запропоновано методику вибору місця встановлення вітроагрегату шляхом картографічного моделювання та вилучення з подальшого розгляду зон обмеження, спричинених розселенням та інфраструктурою. Складено відповідні карти розповсюдження лімітуючих факторів. Натомість, навіть із врахуванням таких обмежень, загальна площа території, придатної для розвитку вітроенергетики, виявляється достатньою для вибору місця розташування вітроагрегатів із врахуванням найбільшого потенційного виробітку енергії.

9. На основі проведених особисто польових вимірів акустичних рівнів шуму запропоновано використовувати для розміщення вітроагрегатів найбільш акустично навантажені ділянки, де рівень фонового шуму території здатен перекривати шум працюючої вітроелектростанції.

10. Виявлено, що в межах Приоскільської тестової ділянки, що є регіональним шляхом сезонної міграції перелітних птахів, можна уникнути негативного екологічного ефекту через розташування ланцюга вітроагрегатів перпендикулярно щодо шляху міграції та достатнього віддалення від основних ареалів їх мешкання

чи відпочинку (територія поблизу Червонооскільського водосховища). Натомість наголошено, що необхідним є довгостроковий (не менше 1 року) моніторинг місцевої орнітофауни для визначення можливих загроз та заходів для їх усунення.

11. Доведено, що на території, прилеглій до тестової ділянки у Борівському районі Харківської області, існують гарні передумови для розвитку вітроенергетики. Отримані значення потенційного виробітку вітроустановок вказують, що в разі їх встановлення у даній місцевості, загальний час роботи вітроагрегата в перерахунку на повне навантаження становитиме від 1,6 тис. годин в разі встановлення вітроагрегатів типу Enercon E-40, і до 3,7 тис. годин для ВЕУ типу Enercon E-115, що, на думку міжнародних експертів з вітроенергетики, є досить високим показником.

12. Виявлено, що в разі розвитку стратегії, заснованої на використанні старих менш потужних вітроагрегатів, менший виробіток буде економічно компенсовано за рахунок зменшення відводу (закупівлі, оренди) землі, забезпечення більш економічної стратегії підключення до електромережі. Але при цьому вибір місць розташування вітроагрегатів мусить уточнюватись відповідно до змін параметрів місцевості та з урахуванням висоти ротора вітрової турбіни.

13. В рамках аналізу електромережі виявлено, що місцеві підстанції, як правило, здатні прийняти максимальну потужність у 10 МВт, що створює обмеження для масштабного розвитку вітроенергетики, але дозволяє побудову середньомасштабних вітроенергетичних станцій.

14. Проведено порівняльний аналіз акустичного впливу вітроелектростанцій в межах різних стратегій розвитку вітроенергетики. Виявлено, що менші значення досягаються при використанні більш потужних вітроагрегатів.

У результаті проведеного дослідження переконливо продемонстровано, що моделювання природних передумов вітроенергетичного потенціалу та його застосування на основі даних дистанційного зондування у поєднанні з польовою зйомкою з використанням сучасних ГІС-технологій дозволяє не тільки пришвидшити процес обробки вхідних даних, але й визначити специфічні закономірності, які не можна було отримати у традиційний спосіб, та забезпечити використання енергії вітру з найбільшою ефективністю.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці у наукових фахових виданнях України:

1. **Волковая О. О.** Застосування ГІС при розробці стратегії розвитку вітроенергетики на рівні адміністративного району / **О. О. Волковая**, О. С. Третьяков // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – Вип. 17. – С. 9-12. – 0,3 д. а. (*Особистий внесок автора: представлено методiku та результати вимірів фонові акустичної ситуації на місцевості для оцінки шумового впливу вітрогенераторів – 0,2 д. а.*)

2. Tretiyakov O. Geoinformational support of wind power development at the local level / О. Tretiyakov, **О. Volkovaia** // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – Вип. 19. – С. 117-120. – 0,4 д. а. (*Особистий внесок автора: представлено результати аналізу методики прогнозування потенційного виробітку енергії для локальних територій та її апробації на території Харківської області – 0,3 д. а.*)

3. Balynska M. O. The application of difference image technique for change detection on the territory of Mezin national nature park / M. O. Balynska, O. S. Tretyakov, **O. O. Volkovaia** // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – Вип. 21. – С. 58-66. – 0,5 д. а. (*Особистий внесок автора: представлено результати інструментального порівняння двох різночасових космічних знімків з метою виявлення та систематизації змін підстильної поверхні (ландшафту, землекористування, забудови і тощо)* – 0,3 д. а.)

4. **Волковая О. О.** Можливості уточнення та перевірки результатів картографічного моделювання швидкостей вітру на локальному рівні / **О. О. Волковая** // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – Вип. 22. – С. 40-43. – 0,35 д. а.

Наукові праці у зарубіжних наукових виданнях:

5. Агапова Е. Л. Математическое и картографическое моделирование потенциала энергетических ресурсов ветра на региональном и локальном уровне / Е. Л. Агапова, **А. А. Волковая** // Магілєўскі мерыдыян. – Могилев, 2015. – Том 15–16. – Вып. 1-2 (31-32) – С. 40-48. – 0,83 д. а. (*Особистий внесок автора: розкрито особливості математичного та картографічного моделювання енергетичних ресурсів вітру на локальному рівні* – 0,43 д. а.)

Наукові праці у інших наукових періодичних виданнях:

6. **Волковая О. О.** Моделювання вітрового потенціалу локальної ділянки Лісостепу для потреб вітроенергетики з використанням ГІС-технологій / **О. О. Волковая**, О. С. Третьяков, І. Г. Черваньов // Український географічний журнал. – Київ, 2015. – №4. – С. 10-16. – 0,72 д. а. (*Особистий внесок автора: представлено методику і результат застосування моделі прогностичного розрахунку середніх швидкостей вітру для потреб вітроенергетики на основі ГІС-технологій* – 0,6 д. а.)

Наукові праці апробаційного характеру за темою дисертації:

7. **Волковая О. О.** Питання просторового моделювання шумового забруднення від ВЕС / **О. О. Волковая** // Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи: матер. щорічн. наук. конф. студентів та аспірантів, присвяч. пам'яті проф. Г. П. Дубинського, Харків, 6-8 квітн. 2011 р. – Харків, 2011. – Вип. 4. – С. 16-17. – 0,09 д. а.

8. **Волковая О. О.** Територіальний розподіл вітроенергетичного потенціалу: вплив географічних чинників / **О. О. Волковая** // Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи: матер. щорічн. наук. конф. студентів та аспірантів, присвяч. пам'яті проф. Г. П. Дубинського, Харків, 5-6 квітн. 2012 р. – Харків, 2012. – Вип. 5. – С. 13-14. – 0,1 д. а.

9. **Волковая О. О.** Дослідження фонового шуму території для потреб вітроенергетики / **О. О. Волковая** // Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи: матер. щорічн. наук. конф. студентів та аспірантів, присвяч. пам'яті проф. Г. П. Дубинського, Харків, 5-6 квітн. 2013 р. – Харків, 2013. – Вип. 6. – С. 120-122. – 0,11 д. а.

10. **Волковая О. О.** Моделювання просторового розподілу фонового шуму для потреб вітроенергетики / **О. О. Волковая** // Охорона довкілля: матер. IX Всеукр. наук. Таліївських читань, Харків, 19-29 квітн. 2013 р. – Харків, 2013. – С. 39-41. – 0,11 д. а.

11. **Волковая А. А.** Геоинформационное моделирование фонового шума местности для определения воздействия ветроэнергетики на окружающую среду / **А. А. Волковая** // XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов»: Материалы международного молодежного научного форума «Ломоносов – 2014» [Электрон. ресурс]. / МГУ им. Ломоносова. – Электрон. данные. – Москва, 2014. – электрон. диск (CD-ROM). – 0,08 д. а.

12. **Волковая О. О.** Проблеми використання ГІС для моделювання вітроенергетичних ресурсів на локальному рівні / **О. О. Волковая** // Географія, екологія, туризм: теорія,

методологія, практика: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 25-річчю географічного факультету ТНПУ (21-23 травня 2015 року). – Тернопіль: СМП «Тайп», 2015. – С. 143-145. – 0,18 д. а.

13. **Volkovaia O.** Environmental impact assessment for two dimensions of wind farms / **O. Volkovaia** // Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2017: зб. тез доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 10-річчю створення екологічного факультету (Харків, 19-22 квітня 2017 року). – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – С. 51-52. – 0,12 д. а.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. **Волковая О. О.** Моделирование виробітку енергії вітрогенераторами: методичний посібник / **О. О. Волковая**, О. С. Третьяков. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – 40 с. – 1,25 д. а. (*Особистий внесок автора: теорія оцінки вітроенергетичного потенціалу, інструкція до розрахунків у середовищі ГІС.* – 1,0 д. а.)

АНОТАЦІЯ

Волковая О. О. Природно-ресурсний потенціал території для розміщення вітроагрегатів: топічний рівень. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.11 – конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів. – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, 2018.

У дисертаційній роботі виконано теоретичне обґрунтування та запропоновано спосіб обрання варіанту оптимального врахування комплексу фізико-географічних та екологічних чинників при оцінюванні потенціалу вітроенергетики на топічному рівні, що є необхідним для моделювання розміщення вітроагрегату у певній точці перспективної ділянки. Обґрунтовано вибір та вдосконалення методики моделювання вітропотoku й визначення вітропотенціалу з використанням моделі MS-Micro/3 для ділянок із складною орографією й строкатою ландшафтною структурою, типовою для Лівобережного Лісостепу України. Встановлено, що обрана модель в таких умовах має найменші показники похибки та забезпечує достатню достовірність результатів. Проведено порівняльний аналіз основних моделей прогнозування середньої швидкості вітру та величини похибки кожної моделі в залежності від орографії та шорсткості місцевості. Удосконалено й апробовано спосіб отримання параметрів території, потрібних для моделювання вітропотoku, шляхом комплексного застосування польової ландшафтної зйомки, статистичних розрахунків та геоінформаційних технологій.

Запропоновано методику вибору місця встановлення вітроагрегату шляхом картографічного моделювання та вилучення з подальшого розгляду зон обмеження, обумовлених розселенням та інфраструктурою. Укладено відповідні карти розповсюдження лімітуючих факторів. Доведено, що на території, прилеглій до тестової ділянки у Борівському районі Харківської області, існують гарні передумови для розвитку вітроенергетики.

Ключові слова: природно-ресурсний потенціал, вітроенергетика, топічний рівень, швидкість вітру, стратегія розвитку вітроенергетики, вітроенергетичні ресурси, геоінформаційні технології.

АННОТАЦИЯ

Волковая О. О. Природно-ресурсный потенциал территории для размещения ветроагрегатов: топический уровень. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук: 11.00.11. – конструктивная география и рациональное использование природных ресурсов. – Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Харьков, 2018.

В диссертационной работе выполнено теоретическое обоснование и предложен способ избрания варианта оптимального учета комплекса физико-географических и экологических факторов при оценке потенциала ветроэнергетики на топическом уровне, что необходимо для обоснования размещения ветроагрегата в определенной точке перспективного участка. Обоснован выбор и совершенствование методики моделирования ветропотока и определения ветропотенциала с использованием модели MS-Micro/3 для участков со сложной орографией и пестрой ландшафтной структурой, типичной для Левобережной Лесостепи Украины. Установлено, что выбранная модель в таких условиях имеет наименьшие показатели погрешности и обеспечивает достаточную достоверность результатов. Проведен сравнительный анализ основных моделей прогнозирования средней скорости ветра и величины погрешности каждой модели в зависимости от орографии и шероховатости местности. Усовершенствован и апробирован способ получения параметров территории, необходимых для моделирования ветропотока, путем комплексного применения полевой ландшафтной съемки, статистических расчетов и геоинформационных технологий.

Предложена методика выбора места установки ветроагрегата путем картографического моделирования и исключения из дальнейшего рассмотрения зон ограничений, обусловленных расселением и инфраструктурой. Составлены соответствующие карты распространения лимитирующих факторов. Доказано, что на территории, прилегающей к тестовому участку в Боровском районе Харьковской области, существуют хорошие предпосылки для развития ветроэнергетики.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, ветроэнергетика, топический уровень, скорость ветра, стратегия развития ветроэнергетики, ветроэнергетические ресурсы, геоинформационные технологии.

ABSTRACT

Volkovaia O. Natural resource potential of the territory for placing wind aggregates: a topical level. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Geography (PhD): 11.00.11. – Constructive geography and rational use of natural resources. – V. N. Karazin Kharkiv national university, Kharkiv, 2018.

The purpose of the study was the implementation of the methodology for assessing the natural resource potential of the territory for the wind energy development from regional to topical (site) level with a different combination of physical and geographical conditions, considering necessary economic infrastructure.

The thesis research was based on the model approach in constructive geography. The comparative-geographical method was used to select the site of the study. Mathematical and statistical methods were used to process the results of wind speed measurements. Modern methods of cartographic and geoinformation modeling were used to construct and study the distribution surfaces of wind energy resources and to determine the wind energy output (using Panorama, Surfer, QGIS, and specialized WindFarm GIS). Methods of geographical analysis and synthesis were used in a substantive analysis of the obtained results and in optimization of possible wind farms location.

The following results were obtained. A theoretical substantiation has been made and a method for choosing the optimal account for a complex of physiographic and environmental factors in estimating the wind energy potential at the topical level was proposed, which is necessary for determining and modeling the location of the wind farm at a certain point on the prospective site. The selection and improvement of the wind flow modeling and wind potential estimation method using MS-Micro/3 model for sites with complex orography and variegated landscape structure typical for the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine was substantiated. The chosen model under such conditions has the lowest error indices and ensures sufficient reliability of the results. A comparative analysis of the main models for predicting the average wind speed was conducted and the magnitude of the error of each model due to the orography and roughness of the terrain was estimated. The method of obtaining the parameters of the territory necessary for modeling the wind flow has been improved and tested through the integrated application of field landscape survey, statistical calculations and geoinformation technologies application.

It was established that in the complex physico-geographical conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine it is necessary to determine accurately location of wind farm sites, since the wind energy potential depends significantly on the aggregate of several natural factors: the relief, vegetation cover and the presence of water bodies. The dependence of the space-time distribution of the wind flow and, accordingly, the energy efficiency of the wind farm on the structure of the relief and its correlation with the wind rose was established. It was determined that among the typical areas of the fluvial relief (flat interfluve, slope, surface of the reservoir), the most promising areas for use of wind energy are high areas and break parts of windward slopes located on the flat interfluve, least are on the rear seam of the slope and within the part of the reservoir. Although it is confirmed that the absolute height of the terrain is the dominant parameter in the wind energy output design, it is established that with the beneficial effect of a complex of other factors, the average wind speeds can reach high values even at points of the terrain that are not characterized by dominant heights. Potential wind energy output back depends on the roughness and directly on openness to the prevailing (statistically during the year) wind.

A method for choosing the location of the wind farm site by cartographic modeling and eliminating the restriction zones caused by settlement and infrastructure from further consideration was proposed. Corresponding maps of distribution of limiting factors were made. It was proved that on the territory adjacent to the test site in the Borovski district of the Kharkiv region, there are good prerequisites for the wind energy development.

Key words: natural resources potential, wind power, topical level, wind speed, wind energy development strategy, wind power resources, GIS technology.